



Explosimètres à long chemin optique : état de l'art - normalisation - essais

Antoinette Accorsi, François Gagnon

► To cite this version:

Antoinette Accorsi, François Gagnon. Explosimètres à long chemin optique : état de l'art - normalisation - essais. 115. Congrès du Gaz, Sep 1997, Toulouse, France. pp.25-43. ineris-00972110

HAL Id: ineris-00972110

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972110>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EXPLOSIMETRES A LONG CHEMIN OPTIQUE : ETAT DE L'ART - NORMALISATION - ESSAIS

Communication de Antoinette ACCORSI
Responsable du Laboratoire Capteurs

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

de François CAGNON
Ingénieur-Chercheur

Direction de la Recherche
Gaz de France

RESUME

Les détecteurs de gaz et vapeurs explosibles "barrières" sont de plus en plus utilisés en remplacement des explosimètres ponctuels.

Exclus des normes sur les détecteurs de gaz combustibles puisque ne donnant pas une indication de LIE, ils fournissent une mesure d'un produit LIEx distance. Est-ce plus ou moins sûr ?

Après avoir rappelé les principes des explosimètres ponctuels, l'exposé décrit les principes des appareils barrières, les avantages et les inconvénients prévisibles, les méthodes d'essais et les performances proposées dans le projet de norme européenne actuellement à l'enquête publique ; puis il décrit le programme d'essais mis au point par GDF. En conclusion, il est précisé que la méthodologie de couverture du risque doit tenir compte des principes utilisés dans les détecteurs de gaz, et qu'une étude complète de celle-ci reste à faire, étude qui devrait associer prescripteurs et utilisateurs.

OPEN-PATH COMBUSTIBLE GAS DETECTORS : ART STATUS - STANDARDIZATION - TESTS

SUMMARY

Open-path combustible gas and vapors detectors are more and more used in place of point detectors. They were excluded from combustible gas detectors standards because of the measurements unit : they give a LEL by distance indication, and do not measure a gas concentration. Is that safe or unsafe ?

After presentation of point detectors principles, we explain the functioning of open path detectors, with expected advantages and drawbacks ; we describe the test methods and performances, as they are proposed in the European Standard draft, which is now under national enquiry. Then we describe the GDF test programm. As a conclusion we indicate that the risk prevention method has to take into account the technics used in gas detectors. An exhaustive study is still missing ; it needs association of users and prescriptives.

FREIWEGDETEKTORE BRENNBAREN GAZEN : TESCHNISCHER STATUS - NORMEN - PRÜFUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Freiwegdetektore brennbaren Gazen sind statt Punktgeräten weiter und weiter verwendet. Sie sind von den Normen der Detektoren brennbaren Gazen ausgeschlossen, weil sie keine UEG geben. Sie liefern ein UEGxMeter Produkt. Ist es sicherer oder ungewisser ?

Nach den Principen der Punktdetektoren beschreiben wir die Principe der Freiwegdetektoren, mit ihren Vorteilen und Nachteilen, die Prüfungsmethoden und die Leistungen, die in dem europäischen Normprojekt vorschlagen sind. Dieses Projekt ist jetzt im Einspruchverfahren.

Denn beschreiben wir das von Gaz de France herausgekommene Prüfungsprogramm.

Schlüsslig weisen wir, dass die Methodik der Gefahrbedeckung die in Gasdetektoren verwendeten Principen berücksichtigen muss, und dass eine vollständige Arbeit zu machen bleibt. Diese Arbeit soll Benutzer und Vorschifter versammeln.

1 - L'EXPLOSIMETRIE PONCTUELLE

Jusqu'à il y a une dizaine d'années, la détection des gaz explosibles était réalisée par des appareils ponctuels, c'est-à-dire des appareils qui mesurent la teneur en gaz à l'endroit même où ils sont situés. Les principes utilisés sont assez divers [1] : catalytique, conductibilité thermique, absorption infrarouge, semi-conducteur, électrochimie, ionisation de flamme, analyse de température de flamme, photo-ionisation. Le détecteur catalytique est le plus répandu : l'oxydation d'un gaz combustible à la surface d'un élément catalytique chauffé électriquement cause une élévation de température mesurable qui dépend de la teneur du gaz détecté.

Les détecteurs ponctuels optiques sont utilisés dans des cas où la maintenance des appareils précédents est délicate ; ils utilisent le principe de l'atténuation de longueurs d'ondes lumineuses spécifiques par les molécules situées dans le trajet optique. La cellule optique a une longueur de quelques centimètres, et peut être soit directement ouverte sur le milieu extérieur, soit fermée, les appareils ayant alors une pompe pour amener le gaz extérieur à l'intérieur de l'appareil.

Chacun des principes présente des avantages et des inconvénients fort bien résumés dans le projet de norme européenne guide de choix [1].

Les règles de construction et les performances minimales de ces matériels sont précisées dans une série de cinq normes européennes [2] parues en 1992.

Retenons des détecteurs ponctuels que, mesurant juste à l'endroit où ils sont situés, ils n'assureront une bonne surveillance que s'ils sont bien placés par rapport à la fuite de gaz : une installation sûre exige donc, d'une part des détecteurs conformes aux normes, d'autre part une étude d'implantation tenant compte des divers paramètres agissant sur la dispersion des gaz [1].

2 - L'EXPLOSIMETRIE A LONG CHEMIN OPTIQUE

Apparu il y a une dizaine d'années, ce type d'appareil a été exclu des normes citées précédemment : leur principe entraînait une mesure totalement différente, et les règles d'implantation allaient être probablement différentes. Leur appellation n'est pas encore normalisée en France : "open-path" peut se traduire par "long chemin optique", "chemin optique ouvert", "barrière" en référence aux barrières immatérielles, "linéaire".

Nous avons choisi "long chemin optique" pour rester plus près de l'anglais, tout en refusant "chemin optique ouvert" puisque certains appareils ponctuels entreraient dans ce cadre.

Sur quel principe repose ce type d'appareil ?

Comme les appareils optiques ponctuels, ils utilisent la propriété d'absorption de longueurs d'ondes spécifiques par les gaz. Par contre la longueur du trajet optique devient très grande ; la mesure ne peut plus être considérée comme faite en un point, d'où l'unité de mesure, la ppm x m ou % LIE x m : l'intensité lumineuse absorbée dépend du nombre de molécules rencontré par le faisceau lumineux entre émetteur et récepteur.

Différents systèmes basés sur ce principe ont été développés. Les uns, passifs, utilisent une source lumineuse extérieure, soleil par exemple. Les autres, actifs, ceux dont nous parlerons ici, ont un émetteur et un récepteur.

Les longueurs d'onde utilisées pour les détecteurs de gaz combustibles sont situées dans l'infrarouge ; il sera nécessaire de choisir des longueurs d'onde qui ne sont pas absorbées par les gaz ou vapeurs présents habituellement dans l'atmosphère comme H_2O ou CO_2 . La source de lumière est soit une lampe à incandescence, dont on utilise l'émission IR, soit un laser, accordable ou non.

Trois configurations peuvent exister :

- le récepteur est situé à grande distance de l'émetteur,
- le récepteur est à côté de l'émetteur, un réflecteur est utilisé à grande distance de l'émetteur,
- le récepteur est toujours à côté de l'émetteur, le faisceau lumineux est réfracté par les particules présentes dans l'atmosphère : on peut alors, avec un laser pulsé, déterminer la concentration en tout point du faisceau (LIDAR).

Dans les deux premières configurations on peut utiliser plusieurs longueurs d'onde, dans un système à transformée de Fourier, ce qui permet de faire de la reconnaissance de gaz, ou bien deux longueurs d'onde seulement, l'une servant de référence, l'autre étant absorbée par le gaz à détecter. La longueur d'onde de référence permet de compenser les fluctuations d'intensité de la source lumineuse, celles dues aux absorptions parasites liées par exemple à des fumées, des brouillards, de la vapeur.

Dans certains cas les appareils peuvent perdre jusqu'à 95 % de la puissance lumineuse et toujours fonctionner. Cependant la sensibilité est liée essentiellement au bruit électronique du récepteur, d'où l'intérêt de récupérer une bonne puissance lumineuse. C'est pourquoi la nature et la qualité du réflecteur est importante, ainsi que l'alignement entre réflecteur et récepteur, ou entre émetteur et récepteur.

Une étude des documentations constructeurs nous a permis de dresser un tableau comparatif des matériels actuellement sur le marché.

	PLMS GD 4 001	PLMS GD 4 002	PLMS GD 4 003
Principe	Emetteur + récepteur côte à côte ("transceiver") + réflecteur	Emetteur + récepteur	Emetteur + récepteur
Longueurs d'onde	Deux, en infrarouge	Deux, en infrarouge	Deux, en infrarouge
Gaz détectés	Hydrocarbures dont CH ₄ à C ₆ H ₁₂	Hydrocarbures dont CH ₄ à C ₆ H ₁₂	Hydrocarbures dont CH ₄ à C ₆ H ₁₂
Distance	5 à 60 m entre émetteur et réflecteur	2 à 120 m entre émetteur et récepteur	1 à 4 m 1,22 à 4,22 entre lentilles
Diamètre du faisceau (ou des réflecteurs)	0,5 x 0,5 de 5 à 20 m)) réflecteur 1 x 1 de 20 à 60 m)		
Echelle	4 à 8 LIE x m	8 à 16 LIE x m	8 à 16 LIE x m
Sensibilité			
Précision			
Erreur de linéarité			
Temps de réponse	< 5 s (95 % signal)	< 5 s (95 % signal)	< 2,5 s (95 % signal)
Dérive long terme	< 1 LIE x m/an	< 1 LIE x m/an	< 0,2 LIE x m/an (zéro) <-5 + 10 % LIE (échelle)
Influence de la température			< 0,2 LIE x m (zéro) entre -30 et +60 °C
Influence de l'humidité			
Sorties	4-20 mA en option	4-20 mA en option	
Alimentation	24 VDC (20 à 35 V)	24 VDC (20 à 35 V)	24 VDC (20 à 35 V)
Puissance	8 W max.	8 W max.	10 W max.
Alignement			± 5°C dans chaque plan
Temps de stabilisation			
Sécurité électrique	EEx ib e IIB T4	EEx ib e IIB T4	EEx ib e IIB T4
Construction (IP)	IP66	IP66	IP66
Matériaux	Polycarbonate renforcé Fibre de verre Inox 316 (fixations)	Polycarbonate renforcé Fibre de verre Inox 316 (fixations)	Polycarbonate renforcé Fibre de verre Inox 316 (fixations)
Dimensions	230 x 290 x 100	230 x 145 x 100	348 x 230 x 230 (émetteur) 357 x 300 x 300 (récepteur)
Poids			4,4 kg émetteur 6,6 kg récepteur
Autres équipements	Carte de contrôle GC 420		

	HAWK	SEARCHLINE 500 COURTE PORTEE	SEARCHLINE 500 LONGUE PORTEE
Principe	Emetteur/récepteur + réflecteur	Emetteur/récepteur + réflecteur	Emetteur + récepteur
Longueurs d'onde	1 à 5 μ	Deux, en infrarouge	Deux, en infrarouge
Gaz détectés	Propane, méthane, No _x , CO...	Méthane, propane, butane, propylène, éthylène	Méthane, propane, butane, propylène, éthylène
Distance	10 à 350 m	10 à 65 m	50 à 130 m (ampoule R63) 100 à 200 m (ampoule R60)
Diamètre du faisceau (ou des réflecteurs)	150 mm	0,5 m ² de 10 à 30 m)) réflecteur 1 m ² de 20 à 65 m)	
Echelle	100 ppm x m à 10 000 ppm x m suivant le gaz (1 500 pour CH ₄ ou 1 000)	5 LIE x m	
Sensibilité	2 % pleine échelle à 350 m (0,6 % pour CH ₄)		
Précision	± 1 % P.E. (temps = 6 s)		
Erreur de linéarité	± 3 % P.E.		
Temps de réponse	4,5 s (50 % signal) 14 s (90 % signal) peut être augmenté à 28 s	< 6 s (90 % signal)	< 6 s (90 % signal)
Dérive long terme	± 2 % P.E. sur 100 heures	Suivi automatique du zéro	Suivi automatique du zéro
Influence de la température	Domaine : - 30 à + 45°C - 0,1 % / °C ± 0,7 ppm / °C	Domaine : - 20 à + 40 ou + 45°C	Domaine : - 20 à + 40 ou + 45°C
Influence de l'humidité	Domaine : 0 à 95 % H.R. (sans condensation) < 1 ppm x m à 80 % H.R. 25°C 350 m	Domaine : 0 - 100 % H.R.	
Sorties	4-20 mA ou 0-2 V RS232C ou RS485 en option	4-20 mA	4-20 mA
Alimentation	24 VDC (19 à 36 V)	24 VDC (19 à 32 V)	24 VDC (19 à 32 V) récepteur 120 ou 240 VAC émetteur
Puissance	25 W	5 VA	5 VA
Alignement		5°C au-dessus de 20 m 10°C en-dessous	
Temps de stabilisation	< 1 min		
Sécurité électrique		EEx em ia IIC T4	EEx em ia IIC T4
Construction (IP)	IP65	IP66 et IP67	IP66 et IP67

	HAWK	SEARCHLINE 500 COURTE PORTEE	SEARCHLINE 500 LONGUE PORTEE
Matériaux	Résistant à la corrosion		
Dimensions	712 x 406 x 216 (émetteur) 178 x 89 x 89 (récepteur)	180 x 185 x 440 (métal.) L = 380 ; Ø = 165 (ABS)	L = 380 ; Ø = 165 mm (émetteur) 185 x 185 x 440 (récepteur) L = 380 ; Ø = 165 (récepteur ABS)
Poids	22,5 kg (émetteur) 7,5 kg (réflecteur triple)	8 kg (émetteur/récepteur) 11 et 38 kg (réflecteur courte et moyenne distance)	6 kg émetteur 8 kg récepteur
Autres équipements	1 réflecteur de 0 à 100 m 3 réflecteurs de 50 à 200 m 7 réflecteurs de 150 à 400 m 17 réflecteurs de 350 à 600 m Alimentation 110 ou 240 V (5,5 kg) Indicateur	Alimentation IP 65	

	PATHWATCH PW 9 200	OBSERGAZ (Safeeye) 790 002 200L	OBSERGAZ (Safeeye) 790 02 200P
Principe	Emetteur + récepteur	Emetteur + récepteur	Emetteur + récepteur
Longueurs d'onde	Deux, en infrarouge	Deux, en infrarouge ou en UV suivant les gaz	Deux, en infrarouge
Gaz détectés	Hydrocarbures lourds, benzène Hydrocarbures totaux	Paraffines : $C_x H_y$, $x < 7$	Paraffines : $C_x H_y$, $3 < x < 8$ Aromatiques (UV) et H_2O en option
Distance	20 à 100 m (lourds) 20 à 140 m (totaux)	10 à 100 m	10 à 100 m (paraffines) 10 à 50 m (aromatiques)
Diamètre du faisceau (ou des réflecteurs)	8 cm		
Echelle		16 LIE x m	2 LIE x m (4 000 ppm x m aromatiques et H_2S)
Sensibilité	1 000 ppm x m pour CH_4 (2 % LIE.m) 200 ppm x m éthane 100 ppm x m butane, propane, pentane	2,5 ppm x m à 500 ppm x m	2,5 ppm x m à 500 ppm x m
Précision		4 % P.E. pour le zéro	
Erreur de linéarité			
Temps de réponse	10 à 20 s (63 % signal)	< 10 s	< 10 s
Dérive long terme			
Influence de la température	Domaine : - 20 à + 43°C	Domaine : - 40 à + 65°C	- 40 à + 65°C
Influence de l'humidité		Domaine : < 95 % H.R..	Domaine : < 95 % H.R..
Sorties	Relais ; 0-10 V ; 4 à 20 mA en option	4-20 mA ; relais (3) ; RS 485	4-20 mA ; relais (3) ; RS 485
Alimentation	24 VDC (20 à 32 V)	20 à 56 VDC	20 à 56 VDC
Puissance	25 W max. (émetteur) 20 W max. (récepteur)	14 W émetteur 10 W récepteur	4 W émetteur 10 W récepteur
Alignement		$\pm 1^\circ C$	$\pm 1^\circ C$
Temps de stabilisation			
Sécurité électrique	EEx d IIB T6	EEx d IIB T6	EEx d IIB T6
Construction (IP)	IP65	IP56	IP56
Matériaux	Aluminium recouvert de téflon		
Dimensions	350 x 275 x 290 (émetteur et récepteur)	180 x 270 x 180 (émetteur et récepteur)	180 x 270 x 180 (émetteur et récepteur)
Poids	26 kg (émetteur) 27 kg (récepteur)	12 kg (émetteur et récepteur)	12 kg (émetteur et récepteur)
Autres équipements	Ecran anti-pluie Casquette de protection de la fenêtre		

Nous avons exclu l'appareil IntrSAFE de MDA, ayant trop peu d'informations lors de l'écriture de cet article.

Ce tableau montre que des lacunes existent quant aux performances métrologiques des appareils, sensibilité, précision, erreur de linéarité, influence des conditions climatiques, et qu'il est souvent délicat de comparer les appareils. En effet, les distances utilisées n'étant pas les mêmes, les échelles, même identiques, ne correspondent pas à la même "vision" de la fuite. Supposons en effet, sur deux appareils d'échelle 16 LIExm, mais utilisant l'un 60 m de chemin optique, l'autre 120 m, une indication de 5 LIExm : si le nuage a une taille supérieure à 120 m, cela correspond à une teneur de 8 % LIE pour le premier appareil et de 4 % LIE pour le second. Pour une même échelle plus le parcours est grand et plus l'appareil est sensible aux fuites étendues. Par contre les deux appareils donneront la même indication pour une teneur en gaz identique pour un nuage de dimension inférieure à 60 m. Autrement dit, pour une même teneur en gaz, deux appareils donneront la même indication si le nuage est de dimension inférieure ou égale au plus petit des chemins optiques, sinon l'appareil à plus long chemin optique donnera une indication plus élevée. Si on compare maintenant deux appareils qui ont le même chemin optique, la sensibilité sera a priori meilleure si l'échelle est plus faible. Le prix sera probablement plus élevé. Une étude comparative prix/sensibilité paraît donc utile, à condition bien évidemment de pouvoir vérifier la sensibilité avec une méthode équivalente pour tous les appareils. Un référentiel commun se devait d'exister. C'est l'objet du chapitre suivant.

3 - LA NORMALISATION - DIFFICULTES D'APPLICATION

Ces appareils ayant été exclus des travaux normatifs cités précédemment, de nouveaux travaux ont démarré depuis cinq ans environ. Soutenus en particulier par la Grande-Bretagne, ils ont conduit à un projet de deux normes européennes [3], soumises actuellement au vote final. La France n'a pas pu faire beaucoup de commentaires, n'ayant pas spécialement d'expérience dans le domaine. Le tableau suivant résume les différents essais et les performances demandées.

Les types d'essais diffèrent peu de ceux présents dans les normes existantes [2], si ce n'est les essais de blocage, déblocage du faisceau optique, ou les essais d'irradiation solaire. Par contre, en regardant les méthodes plus à fond, et en particulier le paragraphe 5.2.4 qui traite des équipements nécessaires au test et à la calibration, on se rend compte des difficultés de réalisation et des manques.

<i>Essai</i>	<i>Conditions</i>	<i>Performances</i>
Installation	distance entre émetteur et récepteur ou réflecteur : 20 m	-
Stockage hors tension	-25 °C et +55 °C	-
Etalonnage	25 %, 50 % et 75 % de l'échelle	± 10 % échelle ou ± 20 % rel.
Dérive court terme	1 h - mesure toutes les 10 min 50 % échelle et zéro	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Dérive à long terme	trois mois - mesure tous les quinze jours zéro et 50 % échelle	± 10 % échelle ou ± 20 % rel.
Alarmes	120 % du point d'alarme	
Variation de température	-25 °C à +55 °C, les deux parties de l'appareil ou une seule en température	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Variation de pression	de 86 KPa à 108 kPa : trois valeurs de pression 50 % échelle	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Vapeur d'eau	air saturé en vapeur d'eau	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Vibration	10 à 55 Hz amplitude : 0,35 mm 1 octave/min ; dix montées - descentes/axe	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Alignement	désalignement conformément aux spécifications constructeurs ; 50 % échelle	± 10 % échelle ou ± 20 % rel.
Temps de réponse	50 % échelle en montée et en descente	$t_{90} < 10$ s (montée) $t_{10} < 10$ s (descente)
Variation de tension d'alimentation	110 et 85 % de la tension nominale pour les alimentations alternatives. 115 et 80 % pour les alimentations continues extérieures. Autres : voir spécifications constructeur	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Interruptions alimentations	- courtes interruptions de tension : 10 ms 10 fois + 10, - 15 % en 10 ms - interruption d'alimentation de 30 min	± 2 % échelle et critère B de la norme 50 082-2 - ± 5 % rel.
Parasitage E.M.	5.4.15 de EN 50 241-1	± 5 % échelle ou ± 10 % rel.
Atténuation du faisceau	95 % atténuation gaz : 50 % échelle	bon fonctionnement ± 5 % rel.
Blocage du faisceau	alarme à 10 % de l'échelle si possible. Deux directions perpendiculaires à l'axe du faisceau	retour au bon fonctionnement sans fausse alarme
Récupération du faisceau	50 % échelle suppression rapide du cache	± 10 % rel. en moins de 20 s
Fonctionnement à longue distance	95 % d'atténuation	± 5 % rel.
Radiation solaire directe	750 W/m ² réflecteur tel que les rayons solaires soient inclinés de +10, +3, -3 et -10 °C/axe	± 10 % de l'échelle ou ± 20 % rel.

3.1 Cellules à gaz

Il a paru inenvisageable aux normalisateurs de créer un nuage gazeux de concentration constante sur une grande longueur, fût-ce seulement les 20 mètres de distance choisis entre émetteur et récepteur. On utilise une chambre cylindrique, de diamètre supérieur au diamètre du faisceau. Cette chambre est bien sûr fermée à ses deux extrémités. C'est de là que proviennent toutes les difficultés : comment réaliser ces extrémités de telle façon qu'elles nuisent le moins possible au fonctionnement de l'appareil ? En effet le matériau utilisé va absorber le rayonnement issu de l'appareil, d'une façon non nécessairement uniforme en fonction des longueurs d'onde utilisées. Il va également, en fonction de son état de surface, réfléchir une partie du rayonnement, et donc renvoyer des rayons parasites sur le récepteur ; il va dévier les rayons lumineux en fonction de son épaisseur si les parois ne sont pas perpendiculaires à l'axe du faisceau, et suivant l'ouverture du faisceau.

La norme indique :

"Les caractéristiques (c'est-à-dire le matériau, son épaisseur et sa planéité) et l'inclinaison des fenêtres des cellules seront choisies de façon à minimiser les effets de la réflexion, de la distorsion et de l'atténuation du faisceau dans la bande effective des radiations mesurées".

3.2 Filtre simulateur de gaz

Lors de l'essai d'influence des radiations solaires, il est permis d'utiliser un filtre à gaz qui simule la présence d'un gaz : il s'agit par exemple d'un film mince de polypropylène, qui produit une "atténuation identique". Comment s'en assurer ? Et si ce filtre est bien semblable à la cellule à gaz, pourquoi la norme ne permet-elle pas de l'utiliser lors des essais climatiques, ce qui simplifierait les essais ?

3.3 Masque d'atténuation du faisceau

Pour atténuer la puissance optique de 95 % il est demandé de construire un masque sous la forme d'une grille opaque, "l'espacement des mailles sera faible en comparaison de l'ouverture du récepteur, et grande vis-à-vis de la longueur d'onde de la radiation mesurée". Ce masque doit être noir absorbant dans ses parties pleines. La précision demandée sur l'atténuation est de 1 %, ce qui est délicat à obtenir.

3.4 Essai en température

Les recommandations concernant la fenêtre de la chambre d'essai sont les mêmes que pour les fenêtres des cellules à gaz, puisqu'il est demandé que le chemin optique soit à l'extérieur de l'enceinte climatique. Ces conditions sont beaucoup plus difficiles à observer, puisqu'il faut pouvoir fonctionner entre -25 et +55 °C, sans condensation sur les optiques. La cellule à gaz reste à l'extérieur de l'enceinte climatique, et donc à la température ambiante. Il n'est donc pas tenu compte de la variation de la largeur de la raie d'absorption avec la température.

Ce test est donc délicat à mettre en oeuvre, coûteux puisqu'il faut construire des fenêtres correctes, et ne représente pas la réalité.

Il est certainement plus représentatif de travailler directement dans une enceinte climatique de 20 m de long.

3.5 Quelques lacunes de la norme

Simuler l'atténuation du faisceau à l'aide du masque décrit en 3.3 ne représente pas nécessairement les actions du brouillard, de la neige, de la pluie ou de la fumée.

L'effet "mirage" qui a une influence dans certaines conditions n'est pas traité ; il faut en effet savoir qu'une variation d'indice de l'air, due par exemple à une surface chaude située à faible distance du faisceau, va entraîner une déviation du faisceau, qui risque fort de ne pas arriver sur le détecteur. Avec un réflecteur judicieusement calculé on peut arriver à atténuer cette distorsion, en raison du parcours inverse de la lumière. Comment quantifier ces effets, et connaître donc les limites d'utilisation des appareils ?

En conclusion, on peut indiquer qu'une évaluation d'un appareil suivant cette norme va coûter fort cher et ne donnera pas tous les éléments pratiques de choix. Il paraît donc souhaitable, avant de se lancer dans un programme aussi lourd, de pouvoir faire un premier tri comparatif à partir d'essais concrets.

4 - L'EXPERIENCE DE GAZ DE FRANCE

Gaz de France s'est penché sur le problème de l'utilisation des explosimètres linéaires, en particulier pour la surveillance de stockage de gaz naturel liquéfié. Un protocole d'essai a été mis au point pour évaluer les performances comparatives des appareils placés en situation réelle, et non en laboratoire.

L'annexe A reproduit le protocole d'essais et de performances.

Des différences notables par rapport aux essais de la norme sont à relever :

- la distance entre émetteur et récepteur est la distance maximale indiquée par le constructeur. Un des essais demande même un fonctionnement à 120 % de la distance maximale, avec une tolérance de ± 15 % sur les mesures par rapport à la valeur exacte. Choisir la distance maximale est effectivement plus judicieux, d'après les explications précédentes sur le bruit du récepteur,
- un essai de sensibilité (seuil) est réalisé,
- des essais sur site réel sont réalisés pendant quatre mois, dont trois au minimum dans la période hivernale. Sont notées les conditions météorologiques locales (température, vitesse et direction du vent, humidité, ensoleillement). Une vérification à mi-échelle de l'appareil est effectuée tous les quinze jours, et le suivi du signal et des alarmes est permanent.

Plutôt que de reproduire des variations des conditions climatiques d'une façon plus ou moins réaliste, le choix est fait d'enregistrer les variations réelles des conditions climatiques. On risque bien évidemment de ne pas être exhaustif ; par contre les variations de plusieurs paramètres vont exister ensemble.

Ce protocole a permis de tester concrètement certains appareils ainsi que leur maintenance. Compte tenu du petit nombre d'appareils essayés, rapport au marché actuel, et du fait que ces tests ne sont pas tous récents, GDF n'a pas jugé opportun d'en présenter ici les résultats.

Ce protocole pourrait être une base de réflexion pour des essais concrets comparatifs. L'EXERA (Association des Exploitants d'Equipements de Régulation et d'Automatismes) souhaite en réaliser, et pourrait orchestrer une étude de ce type.

Le tableau ci-dessous résume les essais pratiques réalisés :

<i>Essai</i>	<i>Conditions</i>	<i>Performances</i>
Installation	indications du constructeur : 1,5 m au-dessus du sol - distance maximale entre émetteur et récepteur	
Courbe de réponse	par valeurs croissantes et décroissantes - 25, 50, 75 et 110 % de l'échelle	$\pm 5 \%$ de l'étendue de mesure ou $\pm 10 \%$ de la concentration
Temps de réponse	400 %.m	$t_{90} < 10 \text{ s}$
Variation de la tension d'alimentation	19 et 32 V pour une alimentation 24 V DC 207 et 244 V pour une alimentation 230 V AC 50 % échelle	$\pm 15 \%$ de la valeur réelle
sensibilité	limite spécifiée par le constructeur trois fois à 30 min d'intervalle	indications stables rapport S/B > 2
portée supérieure à la partie maximale	120 % de la distance maximale 50 % échelle	$\pm 15 \%$ de la valeur réelle
essai sur site	pas d'intervention hors de la maintenance préconisée par le constructeur quatre mois 50 % échelle tous les quinze jours	<ul style="list-style-type: none"> - pas de dysfonctionnement notable, - variations du signal de sortie inférieures à 0,1 mA, - pas de signal gaz intempestif, - $\pm 20 \%$ de la valeur réelle

5 - CONCLUSION

Les appareils à long chemin optique sont assez nouveaux sur le marché de la détection des gaz explosibles. Les retours d'expérience sont peu nombreux et la philosophie de leur implantation n'est pas au point. La normalisation a besoin d'expériences pratiques pour voir le jour et être une aide aux industriels.

Appareils ponctuels et appareils "barrière" se complètent probablement. Les règles d'installation permettant cette complémentarité nous sont encore inconnues.

L'INERIS développe depuis quelques années une méthodologie d'essais pour le même type d'appareils mais dédiés à la surveillance de l'environnement. Une synergie peut exister avec ces équipes : une étude visant à l'évaluation des barrières et à la définition d'une méthodologie d'implantation amènerait à une meilleure couverture des risques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Pr EN 50 073 : Guide for selection, installation, use and maintenance of apparatus for the detection and measurement of combustible gases (February 1997).
- [2] NF EN 50 054 à NF EN 50 058 (Indice de classement : C 23-554) : Appareils électriques de détection et de mesure des gaz combustibles. Règles générale et méthodes d'essais (50 054). Règles de performances (50 055 à 50 058).
- [3] Pr EN 50 241-1 et Pr EN 50 241-2 : Specification for open path apparatus for the detection of gases and vapours.
Part 1 : general requirements and test methods,
Part 2 : performance requirements for apparatus for the detection of combustible gases.

ANNEXE A

ESSAIS DE QUALIFICATION DE DETECTEURS LINEAIRES DE GAZ

1 - OBJET

Ce document définit les méthodes et procédures d'essais de qualification de détecteurs linéaires de gaz naturel, appelés aussi barrières linéaires, et définit les prescriptions de performances. Ces prescriptions complètent éventuellement des prescriptions déjà définies dans le document SG-ET-V-41 pour lesquelles des essais particuliers de conformité à certaines normes, peuvent être réclamés.

2 - GENERALITES SUR LES ESSAIS

2.1 Installation des appareils

Les appareils seront installés conformément aux indications du constructeur à une hauteur de l'ordre de 1,50 m au-dessus du niveau du sol. Sauf pour l'essai défini au 3.6 la distance entre récepteur et émetteur correspondra à la distance maximale indiquée dans les spécifications du constructeur. Seuls les réglages et/ou calibrage normalement prévus lors de la phase d'installation seront effectués. Aucune autre modification ne sera apportée aux appareils.

La cellule d'essai sera interposée sur le chemin optique des appareils et on vérifiera que l'affaiblissement du faisceau ne dépasse pas la valeur définie au 3.1. Sauf indication contraire du constructeur visant à prendre en compte une éventuelle modification du chemin optique due à l'interposition de la cellule d'essai, aucun ajustement ou réglage ne sera effectué jusqu'à la fin des essais définis dans le paragraphe 3 ci-dessous.

3 - ESSAIS QUANTITATIFS

Note : les essais ci-dessous seront réalisés à l'air libre aux conditions de température, d'humidité et de vent du moment. Néanmoins il ne sera pas procédé à des essais par temps de pluie, brouillard ou pour des vitesses de vent supérieures à 10 m/s.

3.1 Dispositif utilisé pour les essais

Tous les essais quantitatifs seront faits en plaçant sur le trajet optique une cellule cylindrique de 1 m de long et 0,2 m de diamètre dotée de deux orifices de remplissage et de deux hublots situés à chaque extrémité. Le matériau composant ces hublots sera du verre à moins qu'un taux d'affaiblissement des signaux supérieur à 3 % ne soit observé. Dans ce cas le matériau sera choisi en fonction des spécifications du constructeur de l'appareil.

Ce cylindre est rempli de gaz en utilisant un mélangeur à débitmètres massiques permettant d'atteindre 600 % LIE en moins de 20 min. Le gaz d'essai est du méthane (N30 pureté >99 % v/v). La concentration finale est atteinte par balayage du cylindre, la stabilisation de la concentration étant contrôlée par un explosimètre catharomètre.

Compte tenu de la longueur de la cellule, les concentrations mesurées en % LIE.m sont donc identiques à celles données en % LIE.

3.2 Essai de base

3.2.1 Essai

La cellule d'essai est remplie avec un mélange d'air et de gaz jusqu'à stabilisation, et la concentration maintenue pendant 3 min. La cellule est ensuite remise en air pur et maintenue ainsi pendant 3 min. Cette opération est effectuée pour des concentrations en gaz permettant d'obtenir les valeurs suivantes :

25, 50, 75, 110, 75, 50, 25 % de la pleine échelle de l'appareil

Cet essai sera répété deux fois.

A l'issue de chaque exposition, le signal de sortie sera mesuré et la valeur indiquée localement sera relevée le cas échéant.

3.2.2 Prescriptions de performance

Aucune des indications relevées ne doit différer de la concentration réelle, pour les valeurs en deçà de la pleine échelle, de ± 5 % de l'étendue de mesure ou 10 % de la concentration, suivant laquelle de ces valeurs est la plus grande.

Pour la concentration correspondant à 110 % de la pleine échelle le signal de dépassement d'échelle devra être généré.

3.3 Temps de réponse

3.3.1 Essai

La cellule de mesure, préalablement remplie d'un mélange correspondant à 400 % LIE.m, sera intercalée rapidement dans le chemin optique.

3.3.2 Prescriptions de performance

Le temps de réponse t_{90} ne devra pas dépasser 10 s.

3.4 Influence de la tension d'alimentation

3.4.1 Essai

L'appareil est alimenté à une tension de :

- 19 V puis 32 V pour les appareils normalement alimentés en 24 VDC,
- 207 V puis 244 V pour les appareils normalement alimentés en 230 VAC.

La cellule d'essai est remplie de gaz à une concentration correspondant à 50 % de l'échelle de l'appareil. Pour chaque tension d'alimentation, la cellule est disposée sur le trajet optique de l'appareil et les indications sont relevées.

3.4.2 Prescriptions de performance

Dans ces conditions les indications ne doivent pas différer de ± 15 % de la valeur réelle.

3.5 Sensibilité

3.5.1 Essai

La cellule est remplie de gaz à une concentration correspondant à la limite de sensibilité de l'appareil spécifiée par le constructeur et intercalée dans le chemin optique pendant 3 min. Puis la cellule d'essai est remise en air pendant 30 min. L'essai est répété trois fois.

3.5.2 Prescriptions de performance

Les indications fournies doivent être stables et les signaux obtenus différer nettement de ceux observés dans l'air (Rapport signal sur bruit supérieur à 2).

3.6 Portée supérieure à la portée maximale préconisée

3.6.1 Essai

L'écartement entre émetteur et récepteur sera porté à 120 % de la distance maximale préconisée par le constructeur. La cellule d'essai sera remplie d'un mélange correspondant à 50 % de la pleine échelle.

3.6.2 Prescriptions de performance

Dans ces conditions les indications ne doivent pas différer de $\pm 15 \%$ de la valeur réelle.

4 - ESSAIS SUR SITE

4.1 Installation

Le fournisseur effectue l'installation des appareils (le câblage peut être effectué par l'exploitant selon les spécifications du fournisseur). Cette installation devra se faire en disposant les appareils (émetteurs et récepteurs) sur les supports de hauteur maximale prévus par le projet et à leur portée maximale de fonctionnement. Une durée d'installation de une semaine au cours de laquelle le fournisseur peut se livrer à tous les essais et réglages qu'il estime nécessaire sera prévue pour chaque appareil.

A l'issue de cette période toute intervention ne faisant pas partie du plan de maintenance normale de l'appareil, et qui ne soit pas le résultat d'un usage abusif de celui-ci (chocs accidentels, intervention par du personnel non autorisé ...) et nécessaire pour assurer le fonctionnement normal de l'appareil sera considérée comme résultant d'un dysfonctionnement notable.

Les essais sur site se dérouleront sur une période de quatre mois dont trois dans la période allant de novembre à février.

Pendant la durée des essais sur site l'appareil sera relié à un dispositif numérique permettant d'enregistrer les signaux de sortie et l'ensemble des paramètres, signaux et alarmes qu'il doit pouvoir fournir conformément aux spécifications générales définies dans le document SG-ET-V-41. De plus seront notées les conditions météorologiques locales (température, vitesse et direction du vent, humidité, conditions d'ensoleillement, ...).

Tout signal de défaut ou d'alarme fera l'objet d'une vérification sur site par l'exploitant qui notera les conditions météorologiques particulières au moment du signal et les observations qu'il aura pu faire sur le site.

4.2 Essai

L'exploitant effectuera un essai à 50 % de l'échelle de l'appareil, par interposition d'une cellule d'essai préalablement remplie de gaz à la concentration voulue sur le chemin optique de l'appareil tous les quinze jours. L'indication locale et la valeur du signal de sortie sont relevées.

4.3 Prescriptions de performance

Durant la durée des essais :

- l'appareil ne doit pas présenter de dysfonctionnement notable, sauf en cas de conditions météorologiques extrêmes (occurrence décennale),
- le signal de sortie en l'absence de gaz doit rester compris entre 3,9 et 4,1 mA,
- aucune présence de gaz ne doit avoir été signalée intempestivement,
- les indications lors des essais en gaz ne doivent pas différer de $\pm 20 \%$ de la valeur réelle.